

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
19. Februar 2004 (19.02.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2004/015754 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **H01L 21/316**

[DE/DE]; Daimlerstrasse 10, 89160 Dornstadt (DE).  
**GUTT, Thomas** [DE/DE]; Truderinger Strasse 2, 82008 Unterhaching (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2003/002523

(74) Anwalt: **KARL, Frank**; Patentanwälte Kindermann, Postfach 1330, 85627 Grasbrunn (DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:  
26. Juli 2003 (26.07.2003)



---

**(57) Zusammenfassung:** Erläutert wird unter anderem ein Verfahren, bei dem eine zu oxidierende Schicht vorzugsweise in einem Einzelsubstratprozess prozessiert wird, wobei die Prozesstemperatur während der Prozessierung unmittelbar am Substrat (114) oder an einer Aufnahmeverrichtung (110) für das Substrat erfasst wird. Es lassen sich Oxidschichten mit genau vorgegebener Oxidweite erzeugen.

## Beschreibung

### Verfahren zum Oxidieren einer Schicht und zugehörige Aufnahmeverrichtungen für ein Substrat

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren, bei dem ein Substrat bereitgestellt wird, das eine zu oxidierende Schicht trägt. Die zu oxidierende Schicht ist Teil eines Schichtstapels, der das Substrat oder eine Grundschicht an einer Grundfläche der zu oxidierenden Schicht und eine Nachbarschicht an der der Grundfläche abgewandten Fläche der zu oxidierenden Schicht enthält. Im Randbereich des Schichtstapels liegt die zu oxidierende Schicht frei.

10 Ein Anwendungsbeispiel für solche Schichtstapel sind die in vertikalen Halbleiterlasern enthaltenen Spiegelschichten. Die vertikalen Halbleiterlaser werden auch als VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser) bezeichnet. Bei dieser Anwendung soll in der zu oxidierenden Schicht durch die Oxidation 15 eine Aperturblende eingestellt werden, die insbesondere auch zur Vorgabe eines Stromflusses dient.

Zur Oxidation des Schichtstapels ist das den Schichtstapel tragende Substrat in einer Heizeinrichtung einzubringen. Das 20 Substrat wird dann mit einem Oxidationsgas umspült und bspw. auf eine Prozesstemperatur zwischen 100°C (Grad Celsius) und 500°C erwärmt. Bei einer alternativen Verfahrensführung wird das Substrat erst bei der Prozesstemperatur (Oxidationstemperatur) mit einem Oxidationsgas umspült.

30

Unter dem Einfluss des Oxidationsgases wird die Oxidations- schicht bei der Prozesstemperatur von ihrem Rand her mit fortschreitender Oxidationszeit immer weiter in den Schicht- stapel hinein oxidiert. Die Oxidationsweite ist maßgeblich 35 von der Prozesstemperatur abhängig. Bereits kleine Abweichun- gen der Prozesstemperatur von einer Solltemperatur führen zu

erheblichen Abweichungen der Oxidationsweite von einer vorgegebenen Soll-Oxidationsweite.

Es ist Aufgabe der Erfindung, zum Oxidieren einer solchen

- 5 Schicht ein einfaches Verfahren anzugeben, mit dem insbesondere eine Oxidationsweite erzielt wird, die einer vorgegebenen Oxidationsweite möglichst genau entspricht. Außerdem sollen zugehörige Aufnahmeverrichtungen für ein Substrat angegeben werden.

10

Die auf das Verfahren bezogene Aufgabe wird durch die im Patentanspruch 1 angegebenen Verfahrensschritte gelöst. Zusätzlich zu den eingangs genannten Verfahrensschritten wird beim erfindungsgemäßen Verfahren das Substrat vorzugsweise in einem Einzelsubstratprozess in der Heizeinrichtung prozessiert. Außerdem wird während der Prozessierung die Prozesstemperatur über die Temperatur an einer Aufnahmeverrichtung für das Substrat erfasst. Die Aufnahmeverrichtung enthält hauptsächlich ein Material mit einer großen Wärmeleitfähigkeit bei der Prozesstemperatur.

20

Die Erfindung geht von der Überlegung aus, dass insbesondere bei Prozesstemperaturen unter 500°C die thermische Kopplung zwischen einer Ofenwand und dem zu prozessierenden Substrat vergleichsweise schwach ist. Deshalb wird beim erfindungsgemäßen Verfahren die Prozesstemperatur nicht an der Ofenwand sondern über die Temperatur der Aufnahmeverrichtung erfasst. Durch das Prozessieren nur eines Substrats an Stelle einer Vielzahl von Substraten in einem Einzelsubstratprozess wird bei einer Weiterbildung außerdem erreicht, dass die thermische Masse in der Heizeinrichtung klein ist. Durch diese Maßnahme lässt sich die Prozesstemperatur sehr schnell und mit geringem Überschwingen einstellen.

30

35

Durch den Einsatz des erfindungsgemäßen Verfahrens lassen sich Oxidationsschichten mit einer hohen Qualität und einer genau vorgegebenen Oxidationsweite oxidieren. Die Prozessie-

rung von Einzelsubstraten bleibt außerdem wirtschaftlich, weil aufgrund der starken Abhängigkeit der Oxidationsweite von der Prozesstemperatur die Oxidation innerhalb weniger Minuten beendet ist.

5

Durch den Einsatz einer Aufnahmeverrichtung lässt sich u.a. eine sehr homogene Temperaturverteilung am Substrat erzielen. Dies ist Voraussetzung für eine genaue Temperaturerfassung und damit auch für eine sehr genaue Prozessführung.

10

Bei einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens bewirken 10°C Abweichung der Prozesstemperatur von einer Soll-Prozesstemperatur eine Abweichung der Oxidationsweite um mehr als 5 %, um mehr als 10 % oder sogar um mehr als 20 % von der Soll-Oxidationsweite. Derartig temperaturabhängige Oxidationsprozesse treten insbesondere bei der Oxidation von Schichten auf, die Halbleitermaterialien enthalten, beispielsweise Galliumarsenid oder Silizium. Dabei ist die zu oxidierende Schicht beispielsweise mit einem Metall dotiert, vorzugsweise mit Aluminium.

20

Bei einer Ausgestaltung enthält das Substrat ebenfalls Galliumarsenid. Die zu oxidierende Schicht ist bei einer anderen Ausgestaltung zwischen zwei Galliumarsenid-Schichten angeordnet. Galliumarsenid ist ein Halbleitermaterial, das insbesondere bei optischen Halbleiterbauelementen verwendet wird, insbesondere bei Halbleiterlasern. Wird die Oxidation von Schichten in diesem Material beherrscht, lassen sich hochwertige optoelektronische Bauelemente fertigen.

30

Bei einer anderen Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die Wärmeleitfähigkeit der Aufnahmeverrichtung bei 20°C größer als  $10 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  (Watt pro Meter und pro Kelvin), vorzugsweise größer als  $100 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ . Das bedeutet, dass die Wärmeleitfähigkeit der Aufnahmeverrichtung so gut ist, wie es auch bei Metallen der Fall ist. Die Aufnahmeverrichtung selbst muss aber nicht aus einem Metall hergestellt sein. So

wird bei einer Ausgestaltung eine Aufnahmeverrichtung verwendet, die mehr als 90 % Graphit enthält und vorzugsweise aus gepresstem Graphit gefertigt ist. Graphit hat insbesondere parallel zu den Schichtebenen der Graphitschichten eine gute 5 Wärmeleitfähigkeit. Das Austreten von kleinen Graphiteilchen während der Prozessierung wird bei einer nächsten Weiterbildung durch eine Beschichtung der Aufnahmeverrichtung verhindert. Zur Beschichtung ist insbesondere Graphit geeignet, das mit Hilfe eines CVD-Verfahrens (Chemical Vapor Deposition) 10 abgeschieden worden ist.

Bei einer nächsten Weiterbildung ist die Aufheizzeit der Heizvorrichtung vom Beginn des Heizvorgangs zum Aufheizen des Substrats bis zum Erreichen der Prozesstemperatur am Substrat 15 kleiner als fünf Minuten. Eine so kurze Aufheizzeit wird durch die geringe thermische Masse und durch das direkte Erfassen der Prozesstemperatur am Substrat bzw. an der Aufnahmeverrichtung ermöglicht. Die Prozesstemperatur liegt vorzugsweise zwischen 350°C und 450°C. Herrscht am Beginn des 20 Heizvorgangs eine Temperatur kleiner als 50°C in der Heizvorrichtung, so bedeutet dies, dass die Temperatur in der Heizvorrichtung während der Aufheizzeit um mehr als 300°C steigt. Eingesetzt werden Heizvorrichtungen, mit denen Temperaturerhöhungen größer 40°C und bis zu 50°C pro Sekunde möglich 25 sind, wobei die Abweichung zu einem vorgegebenen Temperaturverlauf kleiner als 5°C (Grad Celsius) oder kleiner als 1°C ist.

Die Verweildauer des Substrats in der Heizeinrichtung ist bei 30 einer Weiterbildung kleiner als fünfzehn Minuten, insbesondere kleiner als zehn Minuten. Damit qualifiziert sich das erfindungsgemäße Verfahren als Kurzzeittemperaturverfahren, d.h. als sogenanntes RTP-Verfahren (Rapid Thermal Processing). Geeignete Heizeinrichtungen für solche Verfahren ermöglichen z.B.: 35

- die Aufheizung der Siliziumscheibe zwischen zwei geheizten Graphitplatten (Rapid Isothermal Annealing), oder

- die Aufheizung der Siliziumscheibe durch Hochleistungs-lampen, insbesondere Halogenlampen (Rapid Optical Annealing).

5 Bei einer nächsten Weiterbildung des erfindungsgemäßen Ver-fahrens wird beim Aufheizen des Substrats auf die Prozesstemperatur mindestens ein Vorheizschritt durchgeführt, bei dem die Temperatur in der Heizvorrichtung für mindestens zehn Sekunden oder mindestens dreißig Sekunden auf einer Vorheiztemperatur gehalten wird, die kleiner als die Prozesstemperatur und größer als eine Kondensationstemperatur des Oxidati-ons gases, z.B. des Wasserdampfes. Werden als Trägermedium Wassermoleküle eingesetzt, so liegt die Vorheiztemperatur beispielsweise bei 150°C. Durch das Vorheizen wird erreicht,

10 dass das Oxidationsgas, insbesondere Wasser, von der Aufnahmeverrichtung nicht so stark oder nicht absorbiert wird. Eine solche Absorption hätte negative Einflüsse auf die Prozess-führung. Das Oxidationsgas wird bei einer Weiterbildung bei atmosphärischem Druck in die Heizvorrichtung eingeleitet.

15

20 Bei einer nächsten Weiterbildung ist die Aufnahmeverrichtung durch einen Deckel bedeckt. Der Deckel liegt auf dem Rand der Aufnahmeverrichtung auf oder ist in einem vorgegebenen Ab-stand zum Rand angeordnet, so dass sich ein Spalt zwischen

25 Deckel und Rand der Aufnahmeverrichtung bildet. Liegt der Deckel auf der Aufnahmeverrichtung auf, so kann das Oxidati-ons gas aufgrund der Rauhigkeit des Deckels und der Aufnahme-verrichtung dennoch bis zum Substrat vordringen.

30 Das Verwenden eines Deckels ermöglicht es, dem sogenannten "Pattern"-Effekt entgegenzuwirken, wonach an Stellen mit verschiedenen Materialien oder mit verschiedener Strukturie-rung des Substrats bei der Prozessierung mit einer Strah-lungsheizanlage voneinander verschiedene Temperaturen auftre-ten.

35

Bei einer nächsten Weiterbildung enthält die Heizvorrichtung gerade Heizelemente. Das Substrat hat eine kreisförmige Grundfläche, wie sie z.B. eine kreisförmige Halbleiterscheibe hat. Die Aufnahmeverrichtung enthält in Umfangsrichtung des  
5 Substratsumfangs eine Aussparung, in die vorzugsweise auswechselbar ein Ring aus einem Material eingebracht wird, das sich vom Material der Aufnahmeverrichtung unterscheidet, z.B. aus Silizium, Siliziumkarbid, Quarz oder Galliumarsenid.  
Durch geeignete Wahl des Ringmaterials lässt sich eine  
10 gleichmäßige Temperaturverteilung bei der Prozessierung über die gesamte Substratfläche erreichen.

Diese Weiterbildung geht von der Überlegung aus, dass Heizlampen der Heizvorrichtung zwar einzeln steuerbar sind, sich  
15 aber eine radialsymmetrische Wärmeverteilung durch das gezielte Ansteuern von geraden Lampen nicht erreichen lässt. Erst durch das Verwenden des radialsymmetrischen Ringes lässt sich eine gleichmäßigere Wärmeverteilung erzielen. Durch das Einbringen des Ringes lässt sich die thermische Masse der Box  
20 in einer für die Prozessführung geeigneten Art und Weise verändern. Durch das Austauschen von Ringen ist eine Anpassung an verschiedene Substrate und an verschiedene Prozessbedingungen möglich. Bei einer Ausgestaltung gibt es mehrere Ringe verschiedener Stärke aus dem gleichen Material.

25 Bei einer anderen Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die Heizeinrichtung für Heizraten größer als 8°C pro Sekunde geeignet. Der Schichtstapel enthält eine Schicht, die den Rand des Stapels überragt, vorzugsweise eine Kontakt-  
30 schicht zur Kontaktierung des herzustellenden Halbleiterbauelementes. Dennoch wird beim Aufheizen auf die Prozesstemperatur eine Heizrate kleiner als 6°C pro Sekunde oder kleiner als 3°C pro Sekunde verwendet. Durch diese Maßnahme wird erreicht, dass insbesondere bei einer über den Rand hinausragenden Schicht aus Gold ein Absenken der Goldschicht am Rand verhindert wird. Damit steht die gesamte Kontaktsschicht weiterhin für die Kontaktierung eines elektrischen Kontaktes zur

Verfügung. Wird bei einer anderen Vorgehensweise keine Kontaktsschicht verwendet, die den Schichtstapel seitlich übertragt, so werden höhere Aufheizraten als 8°C pro Sekunde verwendet.

5

Bei einer anderen Weiterbildung wird das Oxidieren vor dem Erreichen einer Soll-Oxidationsweite unterbrochen. Die Oxidationsweite wird erfasst und abhängig von der erfassten Oxidationsweite wird eine Nachoxidation ausgeführt. Durch diese

10 Vorgehensweise lässt sich auf für die Oxidation kritische Parameter zurückschließen, z.B. den Metallgehalt der zu oxidierenden Schicht oder die tatsächliche Anfangsgröße der herzustellenden Blende. Diese Rückschlüsse oder bereits die erfassten Werte lassen sich zur Anpassung der Prozesszeit  
15 für einen zweiten Oxidationsschritt zur weiteren Oxidation derselben Oxidschicht verwenden. Auf diese Art und Weise lässt sich die Oxidationsweite sehr genau einstellen, d.h. bis auf eine vorgegebene Zieltiefe.

20 Bei einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens enthält das Oxidationsgas Sauerstoff nur in gebundener Form, vorzugsweise in H<sub>2</sub>O-Molekülen gebunden. Der Anteil von Sauerstoffmolekülen O<sub>2</sub> während der Prozessierung wird kleiner als 1 % gehalten, vorzugsweise auch kleiner als 0,01 % bezogen auf  
25 die Molekülanzahl pro Volumen, weil ansonsten die Oxidation der zu oxidierenden Schicht in den Schichtstapel hinein gestoppt werden würde. Dies ist möglicherweise darauf zurückzuführen, dass der reine Sauerstoff am Rand der zu oxidierenden Schicht eine andere Oxidation bewirkt, die im Unterschied zu  
30 der Oxidation mit gebundenen Sauerstoff das Eindringen von Sauerstoff in die Oxidationsschicht verhindert.

Bei einer anderen Weiterbildung wird die Temperatur mit einem Pyrometer oder mit mindestens einem Thermoelement erfasst,  
35 auf welchem das Substrat oder die Aufnahmeverrichtung aufliegt. Die genannten Bauelemente sind für eine genaue Temperaturmessung gut geeignet.

Die Erfin-  
dungsbereich betrifft außerdem die Verwendung des erfin-  
dungsgemäßen Verfahrens zum Herstellen eines elektronischen  
Halbleiterbauelementes mit elektronischen Kontakten. Überra-  
schenderweise hat sich gezeigt, dass bei der erfindungsgemä-  
ßen Prozessführung der Kontaktwiderstand kleiner als 5 mal  
5  $10^{-7} \Omega/\text{cm}^2$  (Ohm pro Quadratzentimeter) oder sogar kleiner als  
10  $4 \text{ mal } 10^{-6} \Omega/\text{cm}^2$  ist. Damit liegt eine für das Halbleiterbau-  
element wesentliche elektronische Kenngröße deutlich unter  
10 dem bisher erreichten Wert von beispielsweise  $6 \text{ bis } 9 \times 10^{-6}$   
 $\Omega/\text{cm}^2$ . Die Kontaktwiderstände sind insbesondere bei integ-  
rierten vertikalen Lasereinheiten für kurze Schaltzeiten von  
großer Bedeutung, z.B. in Lasereinheiten mit Schaltzeiten  
größer als ein Gigabit pro Sekunde oder größer als 2,5 Giga-  
bit pro Sekunde.

Die Erfin-  
dungsbereich betrifft außerdem Aufnahmegeräte mit den  
oben genannten Eigenschaften. Damit gelten die oben genannten  
technischen Wirkungen auch für die Aufnahmegeräte  
20 alleine.

Die oben als Weiterbildungen bezeichneten Verfahren mit einem  
Vorheizschritt und das Verfahren mit einer Unterbrechung des  
Oxidierens vor dem Erreichen einer Soll-Oxidationsweite  
25 werden auch bei Prozessführungen eingesetzt, die sich von der  
erfindungsgemäßen Prozessführung unterscheiden, beispielswei-  
se hinsichtlich der Prozesstemperatur, hinsichtlich des Er-  
fassens der Prozesstemperatur und/oder hinsichtlich des Re-  
gelns der Temperatur des Substrats.

30 Ausführungsbeispiele der Erfin-  
dung werden an Hand der beilie-  
genden Zeichnungen erläutert. Darin zeigen:

Figur 1 einen Querschnitt durch einen vertikalen Halblei-  
terlaser mit einer zu oxidierenden Aperturblende,

35 Figur 2 eine Anlage zum Durchführen der Oxidation,

Figur 3 den Aufbau einer Heizvorrichtung,

5 Figur 4 einen Temperaturverlauf am Substrat ohne Durchfüh-  
rung eines Vorheizschrittes,

Figur 5 einen Temperaturverlauf am Substrat mit Durchfüh-  
rung eines Vorheizschrittes, und

10 Figur 6 Verfahrensschritte bei einem Verfahren mit unter-  
brochener Oxidation.

Figur 1 zeigt einen Querschnitt durch einen vertikalen Halbleiterlaser 10, bei dem ein Laserstrahl in Normalenrichtung  
15 einer Substratoberfläche 12 eines Halbleitersubstrats 14 austritt, das im Ausführungsbeispiel aus dem Verbindungshalbleiter Galliumarsenid besteht. Der Laserstrahl hat bspw. eine Wellenlänge von 890 Nanometern.

20 Der Halbleiterlaser 10 wird durch einen Schichtenstapel aus einer Vielzahl von Schichten gebildet, die im Folgenden näher erläutert werden. So gibt es in einer substratnahen Hälfte 18 des Schichtstapels 16 beginnend vom Substrat 14 die folgenden Schichten:

- 25 - eine unterste Galliumarsenidschicht 20,  
- eine unterste Aluminiumarsenidschicht 22,  
- eine durch Punkte dargestellte Schichtenfolge 24, die abwechselnd eine Galliumarsenidschicht, eine Aluminiumarsenidschicht, eine Galliumarsenidschicht usw. enthält,  
30 - eine oberste Aluminiumarsenidschicht der substratnahen Hälfte 18, und  
- eine oberste Galliumarsenidschicht 28 der substratnahen Hälfte 18.

35 Die Schichten 20 bis 28 bilden aufgrund der unterschiedlichen Brechungszahlen von Galliumarsenidschichten und Aluminiumar-

senidschichten sogenannte Bragg-Spiegel. Beispielsweise enthält die substratnahe Hälfte 18 zehn Bragg-Spiegel.

In der Mitte des Schichtenstapels 16 befindet sich mindestens  
5 ein sogenannter Quantenfilm 30 zwischen der Galliumarsenid-  
schicht 28 und einer Galliumarsenidschicht 32. Die Galliumar-  
senidschicht 32 und eine weitere Galliumarsenidschicht 34  
schließen eine Aperturschicht 36 ein, die ursprünglich aus  
einer mit Aluminium dotierten Arsenidschicht besteht. Im  
10 Verlauf einer an Hand der Figuren 2 bis 6 näher erläuterten  
Oxidation wird das in der Aperturschicht 36 enthaltene Alumi-  
nium oxidiert, so dass sich eine Aperturblende bildet, die  
einen äußeren Durchmesser D1 hat, der mit dem Durchmesser des  
15 Schichtenstapels 16 auf der Höhe der Aperturschicht 36 über-  
einstimmt. Der Innendurchmesser D2 der Aperturblende hängt  
von der Oxidationsweite W bzw. der Oxidationstiefe in seitli-  
cher Richtung des Schichtenstapels 16 ab.

Die Galliumarsenidschicht 34 bildet die unterste Schicht  
20 einer substratfernen Hälfte 38 des Schichtenstapels 16. In  
der substratfernen Hälfte 38 liegt beginnend an der Gallium-  
arsenidschicht 34 eine Aluminiumarsenidschicht 40,  
- eine Schichtenfolge 42, in der abwechselnd eine Gallium-  
arsenidschicht, eine Aluminiumarsenidschicht, eine Galli-  
25 umarsenidschicht usw. liegt, und  
- eine oberste Galliumarsenidschicht 44 der substratfernen  
Hälfte 38, die sich an die letzte Aluminiumarsenidschicht  
der Schichtenfolge 42 anschließt. Die Schichten der sub-  
stratfernen Hälfte 38 bilden aufgrund ihrer verschiedenen  
30 Brechungszahlen ebenfalls sogenannte Bragg-Spiegel, z.B.  
zehn Spiegel.

Auf der Galliumarsenidschicht 44 befindet sich eine Kontakt-  
schicht 46 aus Gold, deren Rand den Schichtenstapel 16 ent-  
35 lang des gesamten Umfangs des Schichtenstapels 16 überragt.  
Das Überstehen der Kontaktsschicht 46 gewährleistet eine bes-

sere Kontaktierung eines auf der Kontaktsschicht 46 aufzubringenden Kontaktes.

Die Bragg-Spiegelstrukturen des Schichtenstapels 16 lassen  
5 sich beispielsweise mittels Molekularstrahlepitaxie (Molecular Beam Epitaxy) aus [100] orientierten Galliumarsenidwafern herstellen. Die Schichtdicke einer Galliumarsenidschicht bzw.  
einer Aluminiumarsenidschicht beträgt beispielsweise 141 nm  
(Nanometer). Im Ausführungsbeispiel beträgt der Durchmesser  
10 D1 35 µm (Mikrometer) und der Durchmesser D2 13 µm. Die Aperturschicht 36 hat vor der Oxidation beispielsweise eine Dicke von 30 nm.

Eine Oxidation der Aluminiumarsenidschichten der substratnahen Hälfte und der substratfernen Hälfte 38 lässt sich beispielsweise durch die Zugabe von Gallium in diesen Schichten verhindern. Jedoch lassen sich auch andere Maßnahmen treffen, um die Oxidation zu verhindern, z.B. Teilbelackungen.

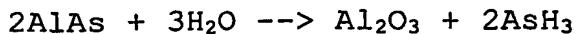
20 Figur 2 zeigt eine Anlage 50, die zum Durchführen der Oxidation der Aperturschicht 36 dient. Die Anlage 50 enthält eine Brenneinheit 52 und eine Heizvorrichtung 80.

Die Brenneinheit 52 hat einen Einlass 56 zum Einlassen von  
25 Wasserstoff H<sub>2</sub> sowie einen Einlass 58 zum Einlassen von reinem Sauerstoff O<sub>2</sub>. In der Brenneinheit 52 werden der Wasserstoff und der Sauerstoff in einem beheizten Brennrohr verbrand, wobei Wasserdampf entsteht. Selbstverständlich lässt sich der Wasserdampf auch auf andere Weise erzeugen,  
30 z.B. durch Verdampfen von Wasser.

Der Wasserdampf und eine vorgegebene Menge Wasserstoff gelangen über ein Verbindungsrohr 60 aus der Brenneinheit 52 in die Heizvorrichtung 80, deren Aufbau unten an Hand der Figur 35 3 näher erläutert wird. Die Heizvorrichtung 80 hat einen Auslass 62, durch den die Reaktionsdämpfe aus der Heizvor-

## 12

richtung 80 austreten können. Eine Reaktionsgleichung für die Oxidation in der Heizvorrichtung 80 lautet:



- 5 Figur 3 zeigt den Aufbau einer Heizvorrichtung 80, die von einer quaderförmigen Reflektorwand 82 umgeben ist, die mit einem Material mit einer hohen Strahlungsreflexion an der innen liegenden Seite beschichtet ist. Innerhalb der Reflektorwand 82 befindet sich eine quaderförmige Heiz-Kammerwand 84 aus einem für die Wärmestrahlung von Halogenlampen gut durchlässigem Material, z.B. aus Quarzglas. Zwischen der Kammerwand 84 und der Reflektorwand 82 sind oberhalb einer Heizkammer 85 sowie unterhalb der Heizkammer 85 Halogenheizlampen 86 bis 104 angeordnet. Die Längsachsen der geraden 10 Halogenheizlampen sind in Längsrichtung der quaderförmigen 15 Heizvorrichtung 80 angeordnet.

Innerhalb der Kammerwand 84 befindet sich auf einer nicht dargestellten Haltevorrichtung eine scheibenförmige Graphitbox 110 mit einer kreisförmigen Grundfläche 112. Die Grundfläche ist bei einem anderen Ausführungsbeispiel quadratisch oder auch rechteckförmig. Die Graphitbox 110 dient zur Aufnahme einer Halbleiterscheibe 114, die beispielsweise das Halbleitersubstrat 14 enthält. Die Graphitbox 110 wird durch einen Graphitdeckel 116 verschlossen, wobei eine Diffusion des Oxidationsgases durch aufgrund der Materialrauheit vorhanden Zwischenräume zwischen der Graphitbox 110 und dem Graphitdeckel 116 möglich ist.

- 30 Die Graphitbox 110 enthält eine Aussparung zur Aufnahme des Graphitdeckels 116. Diese Aussparung wird in seitlicher Richtung durch eine Anschlagfläche 120 begrenzt, die entlang des Umfangs eines Kreises verläuft. Quer zur Anschlagfläche 120 liegt eine Auflagefläche 122, auf der der Graphitdeckel 116 35 aufliegt. Im Ausführungsbeispiel liegt die Anschlagfläche 120 im Winkel von 90° zur Grundfläche 112. Bei einem anderen

Ausführungsbeispiel ist die Anschlagfläche 120 geneigt, um das Einlegen des Graphitdeckels 116 zu erleichtern.

Die Graphitbox 116 hat außerdem eine zentrale Aussparung zur  
5 Aufnahme der Halbleiterscheibe 114. Die zentrale Aussparung hat eine seitliche Anschlagfläche 124, die entlang des Umfangs eines Kreises liegt, gegebenenfalls ausgenommen ein Abschnitt der sich einem Flat der Halbleiterscheibe 114 anpasst. Im Ausführungsbeispiel liegt die Anschlagfläche 124 im  
10 rechten Winkel zur Grundfläche 112. Bei einem anderen Ausführungsbeispiel ist die Anschlagfläche 124 geneigt, um das Einlegen der Halbleiterscheibe 114 zu erleichtern.

Die zentrale Aussparung enthält außerdem eine ebene Auflagefläche 126, auf der die Unterseite der Halbleiterscheibe 114 großflächig aufliegt. Bei alternativ oder kumulativ ist der Abstand zwischen Auflagefläche und Unterseite kleiner als ein Millimeter oder kleiner als 0,5 Millimeter, z.B. 100 Mikrometer. Derartig kleine Spaltbreiten führen zu einer hohen Wärmeleitung, die die gleiche Wirkung bezüglich der thermischen Kopplung wie eine hohe Wärmeleitfähigkeit hat.  
20

Zwischen der zentralen Aussparung und der Auflagefläche 122 für den Graphitdeckel 116 liegt eine ringförmige Aussparung zur Aufnahme eines Einlageringes 128, der beispielsweise aus Silizium, Siliziumkarbid oder einem anderen geeigneten Material besteht.  
25

Die ringförmige Aussparung hat eine äußere Anschlagfläche 130, die entlang des Umfangs eines Kreises verläuft und die im Ausführungsbeispiel senkrecht zur Grundfläche 112 liegt. Eine innere Anschlagfläche 132 der ringförmigen Aussparung liegt entlang des Umfangs eines konzentrischen Kreises mit einem kleineren Durchmesser als der Kreis, entlang dessen Umfang die äußere Anschlagfläche 130 liegt. Die innere Anschlagfläche 132 liegt ebenfalls im Winkel von 90° zur Grundfläche 112. Bei einem anderen Ausführungsbeispiel ist die  
30  
35

äußere Anschlagfläche 130 nach außen und die innere Anschlagfläche 132 nach innen geneigt, um das Einlegen des Einlageringes 128 zu erleichtern. Am Boden der ringförmigen Aussparung befindet sich eine ebene Auflagefläche 133. Die Auflageflächen 122, 126 und 133 liegen parallel zur Grundfläche 112.

Die in Figur 3 dargestellte Graphitbox 110 hat einen ringförmigen Vorsprung zwischen der zentralen Aussparung und der ringförmigen Aussparung. Der Vorsprung wird seitlich durch die Anschlagfläche 124 und durch die innere Anschlagfläche 132 begrenzt. Bei einem anderen Ausführungsbeispiel hat die Graphitbox 110 keinen solchen Vorsprung, so dass die Halbleiterscheibe 14 und der Einlagering nur durch einen Spalt getrennt sind. Ein dem Einlagering 128 entsprechender Einlagering hat in diesem Fall einen inneren Radius, der nur geringfügig größer als der Außenradius der Halbleiterscheibe 114 ist, beispielsweise nur um einen oder zwei Millimeter.

Die in Figur 3 dargestellte Heizkammer 80 ist beispielsweise zur Prozessierung von Halbleiterscheiben 114 mit einem Durchmesser von vier Zoll (1 Zoll gleich 25,4 mm) geeignet. Jedoch gibt es auch Heizkammern 80 für Halbleiterscheiben mit einem größeren oder einem kleineren Durchmesser als vier Zoll.

Zum Erfassen der Temperatur T an der Grundfläche 112 der Graphitbox 110 und damit auch der Temperatur T der Halbleiterscheibe 114 wird bei einer ersten Variante ein Pyrometer 134 verwendet. Das Pyrometer 134 enthält ein Linsensystem 136 und dient zum Erfassen der von der Grundfläche 112 abgestrahlten Wärme über die Messung der Strahlungsintensität bei einer bestimmten Frequenz oder innerhalb eines bestimmten Frequenzbereiches mit Hilfe eines Strahlungssensors 138, z.B. eines Infrarot-Sensors. In Figur 3 ist außerdem der Strahlengang 140 des Pyrometers 134 dargestellt. Der Strahlengang 140 kreuzt ein für die Strahlung durchlässiges Fenster 142 in der Mitte des Bodens der Kammerwand 84 und der Reflektorwand 82. Bei anderen Ausführungsbeispielen wird das Pyrometer 134

anders angeordnet, beispielsweise auch innerhalb der Reflektorkammer 84 und/oder mit seitlichem Versatz zur Mittelachse der Halbleiterscheibe 114.

- 5 Vom Strahlungssensor 138 führen Leitungen 144 zu einer Regel-  
einheit 146 zum Regeln der Temperatur T in der Heizkammer 80.  
Die Regeleinheit 146 arbeitet beispielsweise mit Hilfe eines  
Mikroprozessors, der eine PID-Regelung (Proportional Integral  
Differenziell) ausführt. Aber auch Steuereinheiten werden  
10 eingesetzt. Von der Regeleinheit 146 führen Stromversorgungs-  
leitungen 148, 150 zu den Halogenheizlampen 86 bis 104. Über  
die Vorgabe des Heizstroms lässt sich die Heizleistung der  
Halogenheizlampen 86 bis 104 steuern. Außerdem hat die Regel-  
einheit 146 eine durch einen Pfeil dargestellte Eingabemög-  
15 lichkeit 152 zur Vorgabe eines Soll-Temperaturverlaufs. Der  
Temperaturverlauf ist beispielsweise durch die Vorgabe von  
Zeitpunkten und zugehörigen Temperaturen in einer Datei wähl-  
bar.
- 20 Bei einem anderen Ausführungsbeispiel wird an Stelle des  
Pyrometers 134 ein Thermoelement 154 verwendet, das an der  
Grundfläche 112 der Graphitbox 110 in der Mitte oder mit  
Versatz zur Mitte anliegt. Die Temperatur wird vorzugsweise  
in einem zentralen Bereich der Grundfläche 112 erfasst.
- 25 Figur 4 zeigt einen an der Grundfläche 112 erfassten Tempera-  
turverlauf 160. Der Temperaturverlauf 160 ist in einem Koor-  
dinatensystem 162 dargestellt, das eine x-Achse 164 enthält,  
auf der die Zeit t in einem Bereich von Null Sekunden bis  
30 etwa 700 Sekunden dargestellt ist. Eine y-Achse 166 dient zur  
Darstellung der Temperatur T in einem Bereich von 0°C bis  
etwa 400°C. Die y-Achse 166 ist in einem mittleren Bereich  
168 unterbrochen, um die Auflösung im oberen Temperaturbe-  
reich vergrößern zu können.
- 35 Das Halbleitersubstrat 14 wird in die Graphitbox 110 gelegt  
und in die Heizkammer 80 eingebbracht. Bei einem anderen Aus-

führungsbeispiel wird das Substrat innerhalb der Heizkammer 80 in die Graphitbox eingebracht. Zu diesem Zeitpunkt hat die Graphitbox 110 beispielsweise eine Temperatur von etwa 50°C. Die Heizkammer wird anschließend mit Stickstoff gespült.

- 5 Danach wird das Oxidationsgas in die Heizkammer 80 eingeleitet.

In einer Aufheizphase zwischen einem Zeitpunkt  $t_0$  und einem Zeitpunkt  $t_1$  bei etwa 130 Sekunden wird dann die Graphitbox 110 und damit auch das Halbleitersubstrat 12 auf eine Temperatur von 400°C erhitzt. Aufgrund der Temperaturerfassung an der Grundfläche 112 und der Wahl geeigneter Regelkonstanten tritt kein nennenswertes Überschwingen des Temperaturverlaufs 160 über den Temperaturwert 400°C auf.

- 15 Bei etwa 390°C setzt so dass die Oxidation der Aperturschicht 36 beginnend vom Rand zum Inneren des Schichtstapels 16 hin ein. Mit zunehmender Oxidationszeit steigt die Oxidationsweite  $W$ . Zu einem Zeitpunkt  $t_2$  bei etwa 600 Sekunden hat die Apertur einen Innendurchmesser  $D_2$ , d.h. den Soll-Innendurchmesser. Die Halogenheizlampen 86 bis 104 werden ausgeschaltet, so dass sich die Graphitbox 110 schnell abkühlen kann. Bei einer Temperatur unter z.B. 350°C wird die Heizkammer 85 mit innertem Gas gespült, falls das Oxidationsgas molekularen Wasserstoff enthält.

- 25 Hat die Graphitbox 110 eine Temperatur von etwa 200°C erreicht, so wird sie aus der Heizkammer 80 ausgeschleust. Der gesamte Vorgang zur Prozessierung der Halbleiterscheibe 14 ist kürzer als fünfzehn Minuten. Bei einem anderen Ausführungsbeispiel für einen Halbleiterlaser ohne den Stapel übertragender Kontaktkante ist die Aufheizrate mehr als doppelt so hoch, z.B. dreimal so hoch.

- 35 Figur 5 zeigt einen Temperaturverlauf 180 für eine Prozessierung bspw. eines eine hervorragende Kontaktkante tragenden Halbleitersubstrats 14 mit einem Vorheizschritt. Der Tempera-

turverlauf 180 ist in einem Koordinatensystem 182 dargestellt, das eine x-Achse 184 zur Darstellung der Prozesszeit t in einem Bereich von Null Sekunden bis etwa 700 Sekunden hat. Eine y-Achse 186 des Koordinatensystems 182 dient zur 5 Darstellung der Temperatur T in der Heizkammer 80 in einem Temperaturbereich von 0°C bis 400°C.

Die Graphitbox 110 wird mit dem Halbleitersubstrat 14 in die Heizkammer 80 eingebracht. Anschließend wird mit Stickstoff 10 oder einem anderen inerten Gas gespült. Danach wird Wasserdampf eingeleitet. Bei dem an Hand der Figur 5 erläuterten Ausführungsbeispiel hat die Graphitbox 110 zum Zeitpunkt t0 Zimmertemperatur von 20°C. Beginnend zum Zeitpunkt t0a bis zu einem Zeitpunkt t1a bei 100 Sekunden wird die Temperatur T in 15 der Heizkammer 80 linear bis auf eine Vorheiztemperatur VT von 150°C erhöht. Für eine Zeit zwischen dem Zeitpunkt t1a und einem Zeitpunkt t2a bei etwa 250 Sekunden bleibt die Temperatur auf dem Wert 150°C.

20 Beginnend vom Zeitpunkt t2a bis zu einem Zeitpunkt t3a bei etwa 380 Sekunden steigt die Temperatur T während einer zweiten Aufheizphase in der Heizkammer z.B. linear vom Temperaturwert 150°C bis zum Temperaturwert 400°C an. Aufgrund der Anwesenheit des Oxidationsgases beginnt die Oxidation schon 25 während der zweiten Aufheizphase.

Zwischen dem Zeitpunkt t3a und einem Zeitpunkt t4a bei etwa 30 600 Sekunden bleibt die Temperatur der Graphitbox 110 in der Heizkammer 80 und insbesondere an der Grundfläche 112 konstant auf dem Temperaturwert T von 400°C. In der Zeit zwischen den Zeitpunkten t3a und t4a wird die Aperturschicht 36 weiter oxidiert, bis die Oxidationsweite W erreicht ist.

Zum Zeitpunkt t4a werden die Halogenheizlampen 86 bis 104 35 ausgeschaltet, so dass sich die Heizkammer 80 wieder rasch abkühlt. Anschließend wird die Graphitbox 110 aus der Heiz-

kammer 80 entnommen. Alternativ wird die Temperatur geregelt verringert.

Figur 6 zeigt Verfahrensschritte bei einem Verfahren mit unterbrochener Oxidation. Das Verfahren beginnt in einem Verfahrensschritt 200 mit dem Einbringen des Substrats 14 in die Heizkammer 80. In einem folgenden Verfahrensschritt 202 wird die Aperturschicht 36 bis zu einer Weite W<sub>1</sub> oxidiert, die kleiner als die Oxidationsweite W ist. Die Oxidation wird beispielsweise gemäß dem an Hand der Figur 4 erläuterten Temperaturverlauf 160 durchgeführt. Jedoch wird nach einer Prozesszeit t = 350 Sekunden die Oxidation unterbrochen. Die Graphitbox 110 kühlt sich ab und wird dann aus der Heizkammer 80 entnommen.

Mit Hilfe einer Messvorrichtung wird die Aperturschicht 36 in einem Verfahrensschritt 204 vermessen, wobei die Oxidationsweite W<sub>1</sub> zwischen einem Außenrand A und einem Innenrand I der Aperturblende in der Aperturschicht 36 ermittelt wird. Beispielsweise enthält die Messvorrichtung ein Infrarot-Mikroskop. Ausgehend von der gemessenen Weite W<sub>1</sub> wird dann eine Nachoxidationszeit tr für die Restoxidation ermittelt.

In einem Verfahrensschritt 206 wird die teiloxidierte Aperturschicht 36 wieder in die Heizkammer 80 eingebracht und auf die Oxidationstemperatur von 400°C erhitzt, um für die berechnete Nachoxidationszeit tr eine Restoxidation durchzuführen. Nach Ablauf der Nachoxidationszeit tr wird die Oxidation beendet und die Halogenheizlampen 86 bis 104 werden ausgeschaltet.

Nach der Entnahme des Halbleitersubstrats 14 aus der Graphitbox 110 ist das Verfahren in einem Verfahrensschritt 208 beendet. Die Aperturblende in der Aperturschicht 36 hat nun einen Innenrand I, dessen Durchmesser dem Durchmesser D<sub>2</sub> entspricht. Eine Oxidationsweite W<sub>2</sub> zwischen dem Außenrand A und dem Innenrand I entspricht der Soll-Oxidationsweite W.

Bei einem anderen Ausführungsbeispiel wird das an Hand der Figur 6 erläuterte Verfahren mit dem an Hand der Figur 5 erläuterten Temperaturverlauf im Verfahrensschritt 202  
5 und/oder Verfahrensschritt 206 ausgeführt.

Die Nachoxidationsmöglichkeit basiert darauf, dass die Oxidationskante in der Aperturschicht 36 bei der Entnahme des Substrats aus der Heizkammer 80 im Verfahrensschritt 202  
10 schon eine so "niedrige" Temperatur hat, dass die Aper-turblende noch aus Hydroxiden besteht, die ohne große Proble-me nachoxidiert werden können.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Oxidieren einer Schicht (36),

5 mit den folgenden ohne Beschränkung durch die angegebene Reihenfolge ausgeführten Schritten:

Bereitstellen eines Substrats (14), das eine zu oxidierende Schicht (36) trägt,

10 wobei die zu oxidierende Schicht (36) Teil eines Schichtstapels (16) ist, der das Substrat (14) oder eine Grundschicht (32) an einer Grundfläche der zu oxidierenden Schicht (36) und eine Nachbarschicht (34) an der der Grundfläche abgewandten Fläche der zu oxidierenden Schicht (36) enthält,

15 und wobei die zu oxidierende Schicht (36) in einem Randbereich des Schichtstapels (16) freiliegt,

20 Einbringen des den Schichtstapel (16) tragenden Substrats (14) in eine Heizeinrichtung (80),

Heranführen eines Oxidationsgases an das Substrat (36) ,

25 Erhitzen des Substrats (36) auf eine Prozesstemperatur, wobei die zu oxidierende Schicht (36) unter dem Einfluss des Oxidationsgases bei der Prozesstemperatur von ihrem Rand her mit fortschreitender Oxidationszeit immer weiter in den Schichtstapel (16) hineinoxidiert wird,

30 Erfassen der Prozesstemperatur während der Prozessierung über die Temperatur einer das Substrat (14) aufnehmenden Aufnahmeverrichtung (110),

35 und Regeln oder Steuern (152) der Temperatur des Substrats (14) auf eine vorgegebene Solltemperatur oder einen vorgegebenen Solltemperaturverlauf während der Prozessierung.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Hauptfläche des Substrats (14) parallel an einer Hauptfläche der Aufnahmeverrichtung (110) 5 anliegt oder in einem Abstand kleiner als drei Millimeter oder kleiner als ein Millimeter oder kleiner als 0,5 Millimeter angeordnet wird,

und/oder dass 10°C Abweichung in der Prozesstemperatur eine 10 Abweichung der Oxidationsweite (W) um mehr als 5 % oder um mehr als 10 % oder um mehr als 20 % von einer Soll-Oxidationsweite bewirkt,

und/oder dass die zu oxidierende Schicht (36) ein Halbleitermaterial enthält, vorzugsweise Galliumarsenid, das mit einem 15 Metall dotiert ist, vorzugsweise mit Aluminium,

und/oder dass das Substrat (14) Galliumarsenid enthält,

20 und/oder dass die zu oxidierende Schicht (36) zwischen zwei während der Prozessierung nicht zu oxidierenden Schichten (32, 34) angeordnet ist, vorzugsweise zwischen zwei Gallium-arsenid enthaltenden Schichten (32, 34)

25 und/oder dass die Prozesstemperatur zwischen 100°C und 500°C liegt

und/oder wobei die Oxidationsweite (W) maßgeblich von der Prozesstemperatur abhängt,

30 und/oder wobei das Substrat (14) in einem Einzelsubstratprozess in der Heizeinrichtung (80) prozessiert wird.

35 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Wärmeleitfähigkeit der Aufnahmeverrichtung (110) bei 20°C größer als  $10 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$  ist, vorzugsweise größer als  $100 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ,

und/oder dass die Wärmeleitfähigkeit der Aufnahmeverrichtung bei Prozesstemperatur größer als die Wärmeleitfähigkeit des Substrates (14) bei Prozesstemperatur ist,

5

und/oder dass die Aufnahmeverrichtung (110) Graphit enthält, vorzugsweise beschichtetes Graphit.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, da -  
10 durch gekennzeichnet, dass eine Aufheizzeit der Heizvorrichtung (80) vom Beginn ( $t_0$ ) des Heizvorgangs bis zum Erreichen der Prozesstemperatur kleiner als fünf Minuten ist,

wobei die Prozesstemperatur vorzugsweise zwischen 350°C und  
15 450°C liegt,

und wobei am Beginn ( $t_0$ ,  $t_{0a}$ ) des Heizvorgangs eine Temperatur kleiner 50°C in der Heizeinrichtung (80) herrscht,

20 und/oder dass die Verweildauer des Substrats (14) in der Heizeinrichtung (80) kleiner als fünfzehn Minuten oder kleiner als zehn Minuten ist.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, da -  
25 durch gekennzeichnet, dass beim Aufheizen des Substrats (14) auf die Prozesstemperatur mindestens ein Vorheizschritt ( $t_{1a}$ ) durchgeführt wird, bei dem die Temperatur in der Heizvorrichtung (80) für mindestens zehn Sekunden oder mindestens dreißig Sekunden auf einer Vorheiztemperatur  
30 gehalten wird, die kleiner als die Prozesstemperatur und größer als eine Kondensationstemperatur des Oxidationsgases oder eines dem Oxidationsgas beigemischten Gases ist,

und dass mit dem Einlassen des Oxidationsgases in die Heizeinrichtung (80) vor dem Erreichen der Vorheiztemperatur oder bei der Vorheiztemperatur begonnen wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, da -  
durch gekennzeichnet, dass die Aufnahmeverrich-  
tung (110) durch einen Deckel (116) bedeckt wird,

5 und/oder dass der Deckel (116) auf einem Rand (122) der Auf-  
nahmeverrichtung (110) aufliegt oder in einem vorgegebenen  
Abstand zum Rand (122) gehalten wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, da -  
10 durch gekennzeichnet, dass das Substrat (14)  
eine kreisförmige Grundfläche hat,

und dass die Aufnahmeverrichtung (110) in Umfangsrichtung des  
Substrats (14) eine Aussparung (130) enthält, in die ein  
15 vorzugsweise auswechselbarer Ring (128) aus einem Material  
gelegt wird, das sich vorzugsweise vom Material der Aufnahmeverrichtung (110) unterscheidet,  
und/dass die Heizvorrichtung (80) gerade Heizelemente (86 bis  
104) oder punktförmige Heizelemente enthält,

20 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, da -  
durch gekennzeichnet, dass die Heizeinrichtung  
(80) für Heizraten größer als 8°C pro Sekunde geeignet ist,

25 dass der Schichtstapel (16) eine Schicht (46) enthält, deren  
Rand den Stapel (16) überragt, vorzugsweise eine Kontaktierungsschicht, wobei die Kontaktierungsschicht vorzugsweise  
Gold enthält,

30 und dass das Aufheizen auf Prozesstemperatur mit einer Heiz-  
rate kleiner als 6°C pro Sekunde oder kleiner als 3°C pro  
Sekunde durchgeführt wird.

35 9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, da -  
durch gekennzeichnet, dass das Oxidieren vor  
dem Erreichen einer Soll-Oxidationsweite (W) unterbrochen  
wird (202),

dass die Oxidationsweite (W1) erfasst wird,

und dass abhängig von der erfassten Oxidationsweite (W1) eine  
5 Nachoxidation der zu oxidierenden Schicht ausgeführt wird  
(206).

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, d a -  
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass das Oxidationsgas  
10 Sauerstoff in gebundener Form mit mindestens einem anderen  
Element enthält, vorzugsweise in H<sub>2</sub>O-Molekülen gebunden,

und dass der Anteil von molekularem Sauerstoff während der  
Prozessierung kleiner als 1 % ist.

15 11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, d a -  
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Temperatur mit  
einem Pyrometer (134) oder mit mindestens einem Thermoelement  
(154) erfasst wird.

20 12. Verwendung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden  
Ansprüche zum Herstellen eines elektronischen Bauelementes  
(10) mit elektrischen Kontakten (46),

25 wobei der Kontaktwiderstand des Kontaktes (46) kleiner als 5  
mal 10<sup>-6</sup> Ω/cm<sup>-2</sup> oder kleiner als 4 mal 10<sup>-6</sup> Ω/cm<sup>-2</sup> ist,

oder wobei der Kontaktwiderstand kleiner als der bei einem  
herkömmlichen Ofenprozess entstehende Kontaktwiderstand bei  
30 sonst gleichen Materialien ist,

und/oder zur Herstellung einer integrierten vertikalen Laser-  
einheit (10).

35 13. Aufnahmeverrichtung (110), insbesondere zur Durchführung  
des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

25

mit einem flachen Grundkörper, der Graphit enthält,

und mit einer an ein Substrat (114) angepassten Aussparung (124),

5

gekennzeichnet durch eine äußere Beschichtung.

14. Aufnahmeverrichtung (110) nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Beschichtung Graphit enthält, das vorzugsweise in einem CVD-Verfahren aufgebracht worden ist.

15. Aufnahmeverrichtung (110), insbesondere zum Durchführen des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12,

15

mit einem flachen Grundkörper,

mit einer an ein Substrat (114) angepassten Aussparung (124),

20 gekennzeichnet durch eine in Umfangsrichtung der Aussparung (124) zur Aufnahme des Substrats (114) verlaufende Aussparung für einen auswechselbaren Ring (128).

25 16. Aufnahmeverrichtung (110) nach Anspruch 15 und zugehörige Ringe, dadurch gekennzeichnet, dass die Aufnahmeverrichtung (110) Graphit enthält und dass es mindestens zwei Ringe aus verschiedenen Materialien gibt, vorzugsweise einen Ring, der Silizium enthält und/oder einen Ring, der Siliziumkarbid enthält und/oder einen Ring, der Quarz enthält und/oder einen 30 Ring, der Galliumarsenid enthält.

17. Aufnahmeverrichtung (110) nach Anspruch 15 oder 16 und zugehörige Ringe (128), dadurch gekennzeichnet, dass es mindestens zwei Ringe verschiedener Dicke gibt.

FIG 1

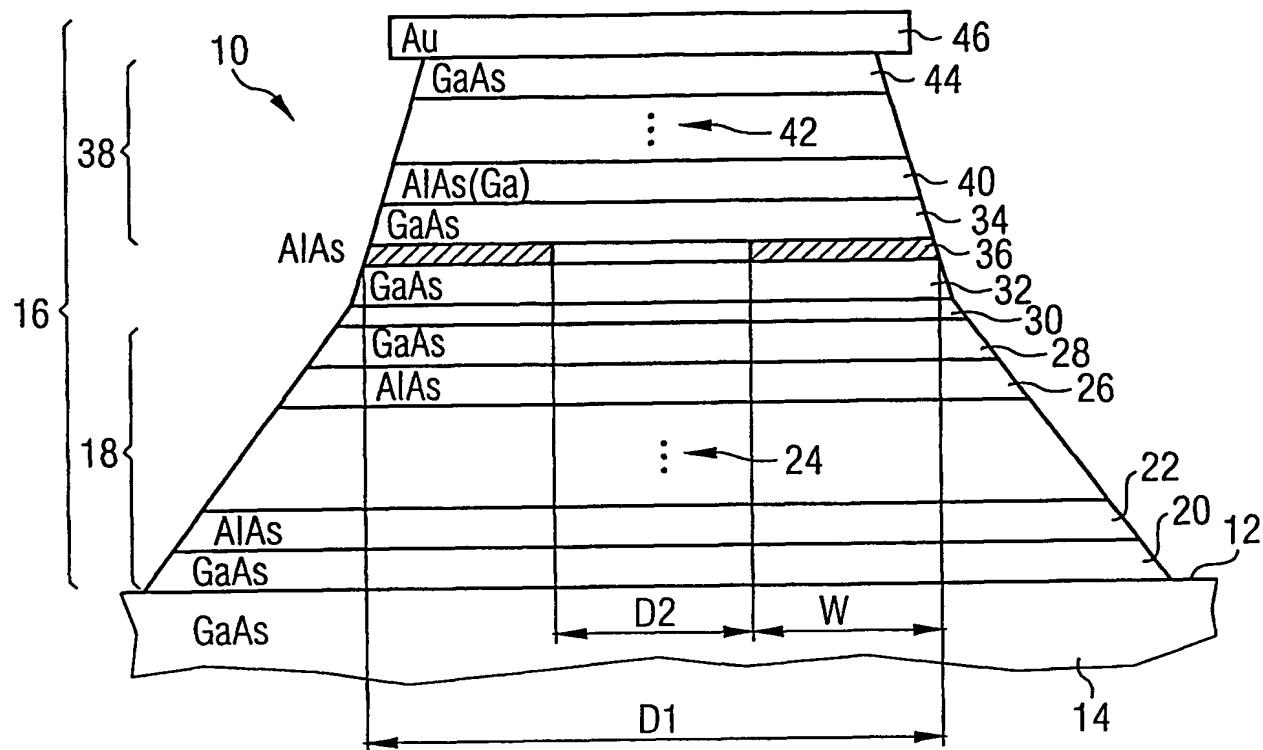
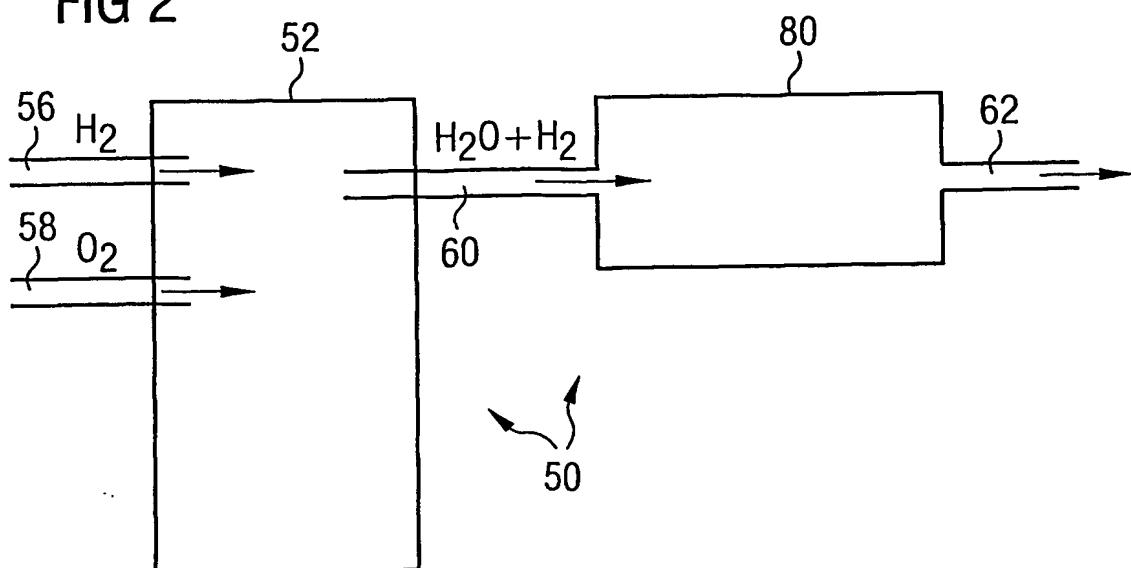


FIG 2



2/3

FIG 3

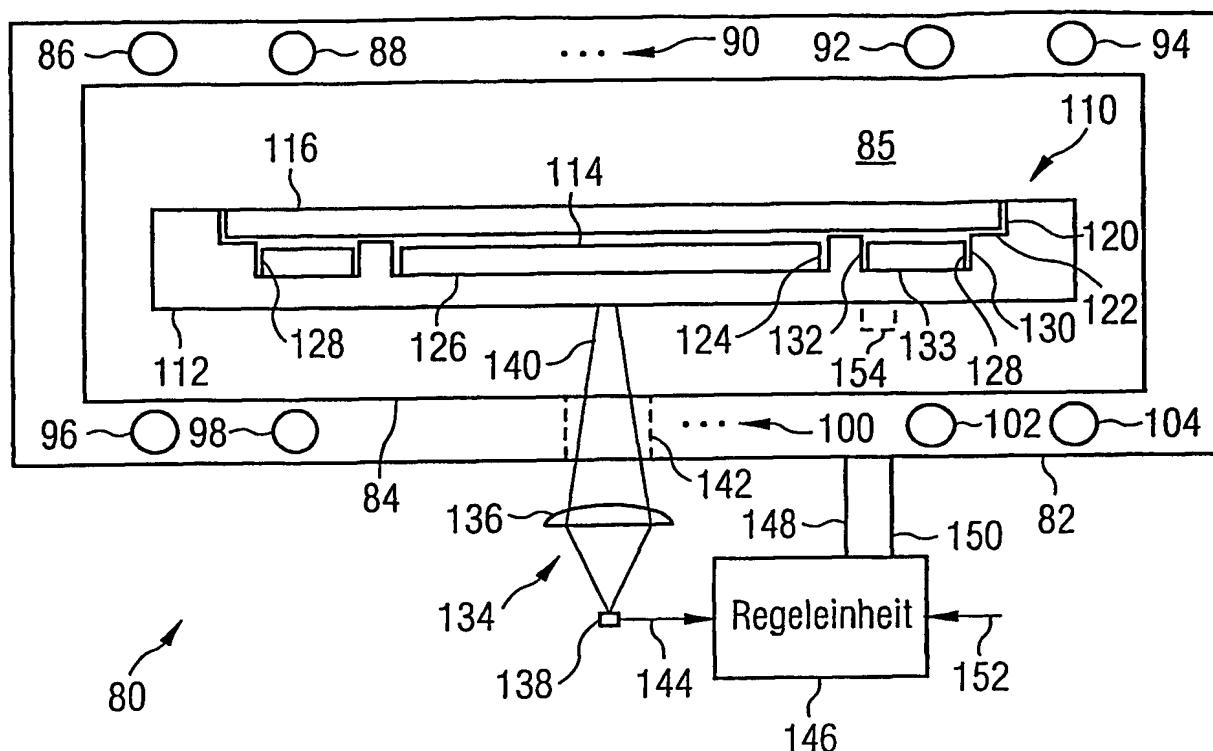
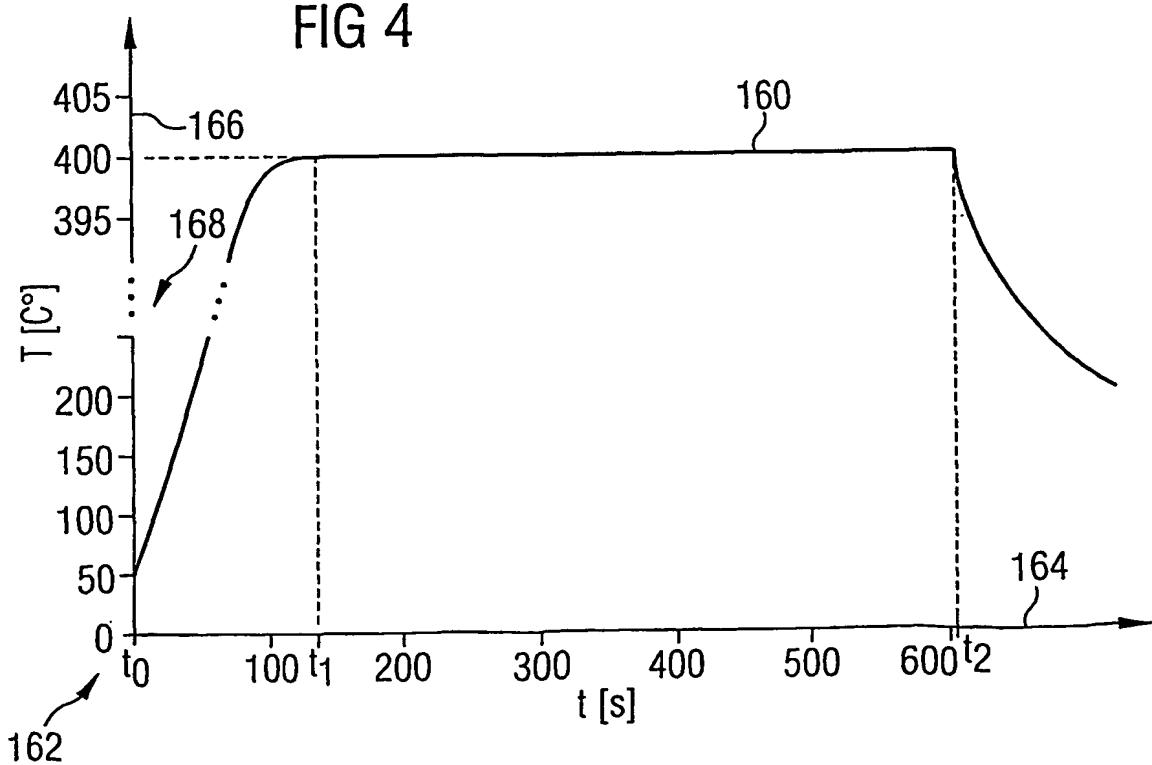


FIG 4



3/3

FIG 5

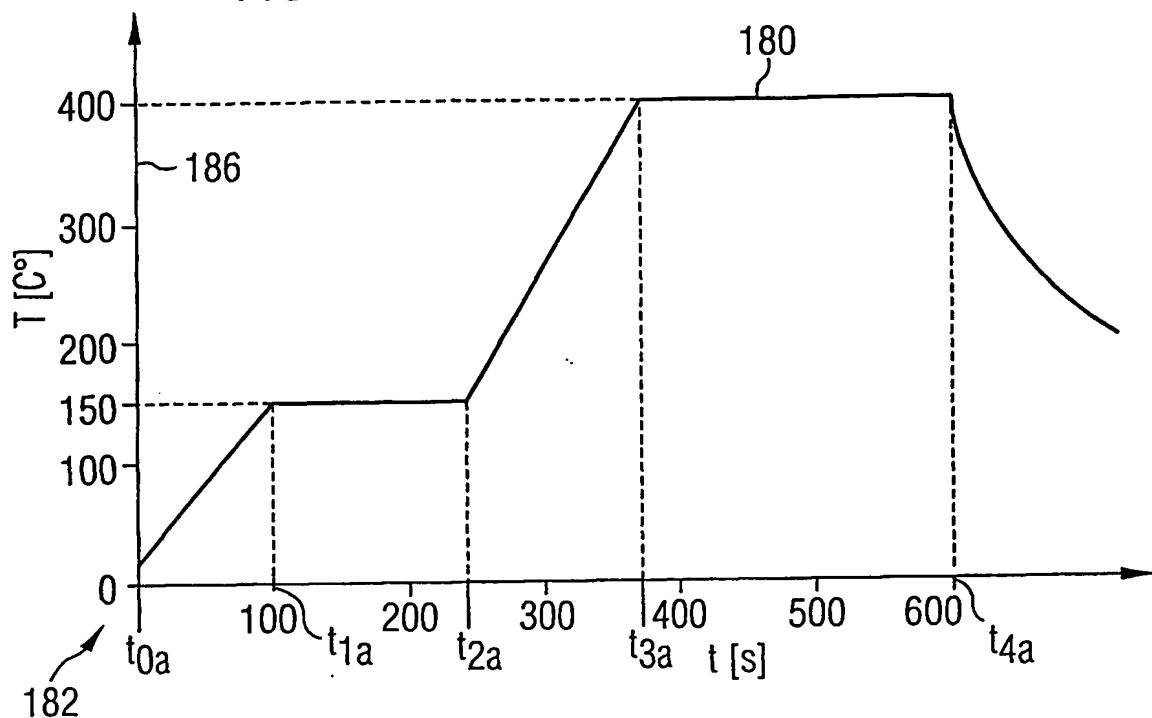


FIG 6

